

PENERAPAN PERSAMAAN PROCA DAN PERSAMAAN MAXWELL PADA MEDAN ELEKTROMAGNETIK UNTUK ANALISIS MASSA FOTON



**Disusun oleh:
OKY RIO PAMUNGKAS
M0213069**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan mendapatkan gelar
Sarjana Sains**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
Februari, 2017**

**HALAMAN PERSETUJUAN
SKRIPSI**

**PENERAPAN PERSAMAAN PROCA DAN PERSAMAAN MAXWELL
PADA MEDAN ELEKTROMAGNETIK UNTUK ANALISIS MASSA
FOTON**

**Oleh:
OKY RIO PAMUNGKAS
M0213069**

Telah Disetujui Oleh

Pembimbing 1



Prof. Drs. Cari, M.A., M.Sc., Ph.D.
NIP. 19610306198503 1 002

Tanggal : 06 Maret 2017

Pembimbing 2



Dr. Fuad Anwar, S.Si., M.Si.
NIP. 19700610200003 1 001

Tanggal : 02 Maret 2017

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul : Penerapan Persamaan Proca Dan Persamaan Maxwell Pada Medan Elektromagnetik Untuk Analisis Massa Foton

Yang ditulis oleh :

Nama : Oky Rio Pamungkas
NIM : M0213069

Telah diuji dan dinyatakan lulus oleh dewan penguji pada

Hari : Rabu
Tanggal : 22 Februari 2017

Dewan Penguji:

1. Ketua Penguji
Khairuddin, S.Si., M.Phil., Ph.D.
NIP. 19701018199702 1 001
2. Sekretaris Penguji
Dr. Eng. Budi Purnama, S.Si., M.Si.
NIP. 19731109200003 1 001
3. Anggota Penguji 1
Prof. Drs. Cari, M.A., M.Sc., Ph.D.
NIP. 19610306198503 1 002
4. Anggota Penguji 2
Dr. Fuad Anwar, S.Si., M.Si.
NIP. 19700610200003 1 001



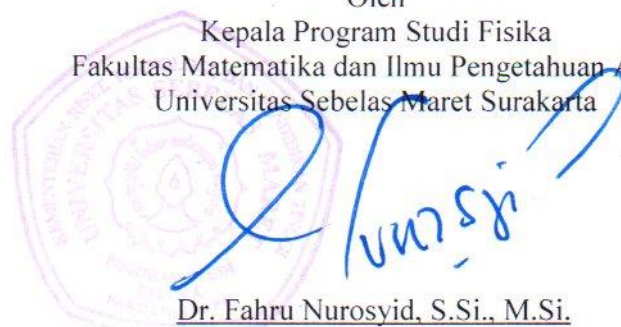






Disahkan pada tanggal 06-03-2017
Oleh

Kepala Program Studi Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Sebelas Maret Surakarta



Dr. Fahru Nurosyid, S.Si., M.Si.
NIP. 19721013 200003 1002

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi intelektual Skripsi saya yang berjudul “PENERAPAN PERSAMAAN PROCA DAN PERSAMAAN MAXWELL PADA MEDAN ELEKTROMAGNETIK UNTUK ANALISIS MASSA FOTON” adalah hasil kerja saya dan sepengetahuan saya hingga saat ini isi Skripsi tidak berisi materi yang telah dipublikasikan atau ditulis oleh orang lain atau materi yang telah diajukan untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di Universitas Sebelas Maret atau di Perguruan Tinggi lainnya kecuali telah dituliskan di daftar pustaka Skripsi ini dan segala bentuk bantuan dari semua pihak telah ditulis di bagian ucapan terimakasih. Isi Skripsi ini boleh dirujuk atau diphotocopy secara bebas tanpa harus memberitahu penulis.

Surakarta, Februari 2017

OKY RIO PAMUNGKAS

MOTTO

“Saya bersaksi bahwa tiada Tuhan selain Allah dan saya bersaksi bahwa Muhammad adalah rosul (utusan) Allah”

“Dan Aku tidak menciptakan jin dan manusia melainkan agar mereka beribadah kepada-Ku” (Adz-Dzariyat : 56)

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

Allah Subhanahu wa Ta'ala yang selalu memberikan rahmat-Nya,
Rosululloh Muhammad Shollallahu'alaihi Wasallam beserta keluarga, sahabat,
dan pengikutnya yang berjuang di jalan islam,
Keluargaku : bapak, ibu, dan mbak-mbakku yang selalu mendukungku,
Segenap keluarga besarku,
Teman-teman Fisika 2013 (EMF),
Saudaraku SKI FMIPA UNS yang senantiasa menasihatiku,
dan seluruh makhluk ciptaan Allah yang tertarik untuk belajar fisika.

Penerapan Persamaan Proca dan Persamaan Maxwell pada Medan Elektromagnetik untuk Analisis Massa Foton

OKY RIO PAMUNGKAS

Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Sebelas Maret

ABSTRAK

Persamaan Maxwell pada medan elektromagnetik dapat dianalisis menggunakan medan vektor yang menggambarkan keadaan relativistik. Persamaan Maxwell menjelaskan bahwa foton tidak mempunyai massa diam. Berdasarkan Persamaan Maxwell, telah dilakukan analisis Persamaan Proca yang mampu menjelaskan massa imajiner foton. Persamaan Proca telah dianalisis sehingga diperoleh persamaan gelombang untuk medan listrik dan magnet, vector dan skalar potensial, dan persamaan kontinuitas untuk foton bermassa. Kemudian menganalisis perbandingan solusi dari Persamaan Maxwell dan Proca untuk potensial skalar dan medan listrik, baik sebagai fungsi jarak maupun bilangan gelombang.

Kata kunci: Persamaan Proca, Persamaan Maxwell, teori medan kuantum, skalar dan vektor potensial.

Application Proca Equation and Maxwell Equation for Electromagnetic Field to Analysis the Mass of a Photon

OKY RIO PAMUNGKAS

Physics Departement, Faculty of Mathematics and Natura Science,
Sebelas Maret Unniversity

ABSTRACT

Maxwell equation for electromagnetic field can be analyzed with vector field that explain relativistic condition. Maxwell equation described that a photon didn't have imaginary mass. Based on Maxwell equation to analysis the Proca equation that explain the mass of a photon. Proca equation has been analyzed in order to obtain wave equation for electric and magnetic field, vector and scalar potential, and continuity equation for massive photon. Then, analyze comparison of solution on Maxwell and Proca Equation for scalar potential and electric field, both as function of distance and constant wave number.

Keyword: Proca equation, Maxwell equation, quantum field theory, scalar and vector potential.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala limpahan nikmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Skripsi. Sholawat dan salam senantiasa penulis haturkan kepada Rosululloh Shollallahu'alaihi Wasallam sebagai pembimbing seluruh umat manusia.

Skripsi yang penulis susun sebagai bagian dari syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains ini penulis beri judul “Penerapan Persamaan Proca dan Persamaan Maxwell pada Medan Elektromagnetik untuk Analisis Massa Foton“. terselesaikannya Skripsi ini adalah suatu kebahagiaan bagi saya. Setelah sekitar satu semester penulis harus berjuang untuk bisa menyelesaikan Skripsi ini tepat waktu. Dengan segala suka dan dukanya, pada akhirnya Skripsi ini terselesaikan juga. Kepada berbagai pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan Skripsi ini penulis ucapkan terima kasih. Atas bantuannya yang sangat besar selama proses pengerjaan Skripsi ini, ucapan terima kasih secara khusus penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Drs. Cari, M.A., M.Sc., Ph.D. selaku pembimbing I yang senantiasa membimbing hingga skripsi ini dapat selesai.
2. Dr. Fuad Anwar, S.Si., M.Si. selaku pembimbing II yang senantiasa membimbing hingga skripsi ini dapat selesai.
3. Prof. Dra. Suparmi, M.A., Ph.D. yang senantiasa memberikan bimbingan terhadap skripsi ini.
4. Dr. Eng. Risa Suryana, M.Si. selaku pembimbing akademik yang senantiasa membimbing dari awal kuliah hingga skripsi ini dapat selesai.
5. Segenap dosen dan staf Program Studi Fisika yang telah banyak membantu dan membimbing selama perkuliahan.
6. Kedua orang tua (Pak Mohatin dan Bu Tri Suratmi) dan keluarga besar karena doa dan bantuannya dari awal menjadi mahasiswa hingga dapat menyelesaikan skripsi ini.

7. Teman-teman fisika UNS, khususnya Fisika 2013 (EMF). Ma'arif, Andhika, Bintang, Trio, Naufal, Feni, dan semua teman-teman seperjuangan fisika 2013.
8. Keluarga Besar SKI FMIPA UNS khususnya periode 2014-2016 yang telah memberikan banyak ilmu dan inspirasinya.
9. Kepada semua pihak yang telah memberikan masukan dan bantuan untuk menyelesaikan skripsi ini.

Semoga Allah Subhanahu wa Ta'ala membalas jerih payah dan pengorbanan yang telah diberikan dengan balasan yang lebih baik. Aamiin. Penulis menyadari akan banyaknya kekurangan dalam penulisan Skripsi ini. Namun demikian, penulis berharap semoga karya kecil ini bermanfaat.

Surakarta, Februari 2017

Okky Rio Pamungkas

PUBLIKASI

Sebagian skripsi saya yang berjudul “Penerapan Persamaan Proca dan Persamaan Maxwell pada Medan Elektromagnetik untuk Analisis Massa Foton “ telah diseminarkan pada *International Conference on Science and Applied Science (Engineering and Educational Science)* 2016 dan dipublikasikan di *IOPscience Journal of Physics; Conf. Series* 795 (2017) 012032.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
HALAMAN ABSTRAK	vii
HALAMAN ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
HALAMAN PUBLIKASI.....	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR SIMBOL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Medan Tensor Dan Teori Medan Kuantum	5
2.1.1. Medan Tensor	9
2.1.2. Teori Medan Kuantum	12
2.2. Persamaan Proca	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	17
3.2. Alat dan Bahan Penelitian.....	17
3.2.1. Alat Penelitian.....	17
3.2.2. Bahan Penelitian.....	17
3.3. Metode Penelitian.....	17
3.3.1. Studi Literatur	19
3.3.2. Analisis Medan Vektor untuk Persamaan Maxwell dengan Metode Medan Tensor	19
3.3.3. Penulisan Persamaan Proca-Maxwell untuk Persamaan Gelombang Elektromagnetik.....	19
3.3.4. Analisis Persamaan Proca Untuk Vektor dan Skalar Potensial serta Persamaan Kontinuitas	20
3.3.5. Kesimpulan	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	21

4.1. Analisis Medan Vektor Parikel Boson	21
4.2. Analisis Persamaan Proca Pada Medan Elektromagnetik.....	25
4.2.1. Persamaan Gelombang Untuk Medan Listrik \mathbf{E}	27
4.2.2. Persamaan Gelombang Untuk Medan Magnet \mathbf{B}	28
4.3. Analisis Skalar dan Vektor Potensial untuk Persamaan Proca	33
4.4. Analisis Persamaan Kontinuitas untuk Persamaan Proca pada Medan Elektromagnetik	35
BAB V PENUTUP	37
5.1. Kesimpulan	37
5.2. Saran.....	37
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN	41

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian	18
Gambar 4.1 Grafik potensial skalar sebagai fungsi jarak pada Persamaan Proca dan Maxwell.....	30
Gambar 4.2 Grafik potensial skalar sebagai fungsi bilangan gelombang pada Persamaan Proca	31
Gambar 4.3 Grafik medan listrik pada Persamaan Proca sebagai (a) fungsi jarak (b) fungsi bilangan gelombang	32

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Nilai/Satuan
h	Tetapan Planck	$6,626 \times 10^{-34} Js$
k	Bilangan gelombang	$2\pi/\lambda$
q	Muatan listrik	Coloumb
λ	Panjang gelombang	Meter
m_γ	Massa imajiner	Kg
ε_0	Permitivitas ruang hampa	$8,85 \times 10^{-12} F/m$
μ_0	Permeabilitas ruang hampa	$4\pi \times 10^{-7} Tm/A$
c	Kecepatan cahaya	$3 \times 10^8 m/s$
E	Medan listrik	N/C
B	Medan magnet	T

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Listing program Persamaan Proca dan Maxwell untuk analisis potensial skalar	41
Lampiran 2. Listing program Persamaan Proca dan Maxwell untuk analisis medan listrik	42
Lampiran 3. Penyederhanaan Persamaan (4.12), (4.15), dan (4.18)....	43
Lampiran 4. Penyederhanaan Persamaan (2.24), (4.27), dan (4.30)....	44